

А.В. ФЕСЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
Ю.Н. ЛЮБИМЫЙ, асп., НТУ «ХПІ»;
М.И. ГАСАНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТЕЙ В РОТОРНЫХ АКТИВАТОРАХ

Предложена структура оценки эффективности активации в роторных гидродинамических установках при обработке жидкостей. Разработана методика расчета затрат энергии в рабочей зоне. Эффективность установок предлагается определять по удельной энергии, затрачиваемой на тепловыделение.

Ключевые слова: активация, роторный аппарат, смазочно-охлаждающая жидкость, мощность, преобразование энергии.

Введение. В настоящее время все более широкое применение находят различные способы активации рабочих жидкостей, что в ряде случаев позволяет улучшить их свойства и повысить эффективность применяемых технологий. В частности, механическое воздействие на рабочие жидкости в различных гидродинамических установках приводит к изменению их физико-химических свойств, что может способствовать повышению производительности и снижению энергозатрат на выполнение работ.

Анализ литературных источников. Большое количество исследований посвящено обоснованию способов энергетического воздействия на рабочую среду в роторных аппаратах, разработано множество конструкций, приводится обоснование схем воздействия, и предлагаются различные методики оценки их эффективности [1, 2, 3]. Однако в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным аналитически описать связь энергетических воздействий с процессами внутренних преобразований в продукте, происходящих при активации.

Продолжает оставаться проблематичным предварительный выбор типов и конструкций аппаратов для конкретных условий производства, поскольку разработанные методики позволяют выполнять сравнение эффективности только для аппаратов определенной конструкции.

Цель исследования, постановка задачи.

Цель исследования: реализовать возможность сравнительного анализа роторных гидродинамических установок различных конструкций. Основным анализируемым параметром при этом считать эффективность активации при обработке жидкостей.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. разработать методику расчета затрат энергии в рабочей зоне; 2. разработать критерий оценки эффективности исследуемых установок.

Материалы исследований. В связи с указанными выше проблемами при исследованиях гидродинамических установок в дальнейшем будем рассматривать только параметры внешнего воздействия (давления, скорости, температуры и их градиенты).

В общем случае, взаимосвязи между параметрами, характеризующими эффективность получения активированного продукта и рационального его использования, можно представить структурной схемой, показанной на рис. 1. При этом возможны два случая использования активированного продукта. В первом случае активация является конечной стадией обработки. Во втором случае предполагается дальнейшее использование обработанного продукта, с целью повышения эффективности различных технологических процессов.

В начальной стадии продукт имеет определенное физико-химическое состояние (1), информация о котором является исходной (6). В активаторе должны создаваться условия, обеспечивающие приобретение этим продуктом новых свойств (2). Свойства, полученные продуктом после активации (3), зависят от выполнения определенных условий. Такими условиями могут быть величина и интенсивность силового и теплового воздействия, гидроудары, сдвиговые и сжимающие напряжения, введение дополнительных компонентов в определенном количестве и состоянии и др. При этом на состояние гетерогенных жидкостей оказывает влияние взаимодействие энергетических полей, физико-химических эффектов, трансформация и инверсия видов энергетического воздействия [2].

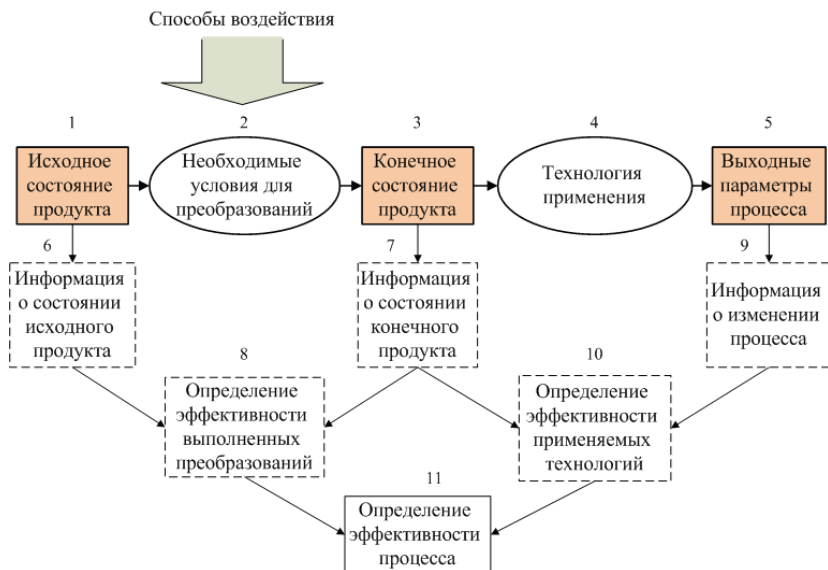


Рис. 1 – Структура оценки эффективности использования активации

В реальных условиях оценку эффективности преобразований (8) можно выполнить при сравнении продукта в исходном (6) и конечном (7) состоянии. В этом случае полученный после активации продукт, является конечной стадией процесса. Тогда для анализа используются блоки (1-2-3-6-7-8). Например, использование гидродинамических активаторов позволяет выполнять низкотемпературную пастеризацию молочных продуктов, повысить однородность и уменьшить размеры жировых шариков, улучшить вкусовые качества. Такая обработка используется также при производстве соков, майонезов и других продуктов.

Если активация является промежуточным этапом и обработанный продукт используется в определенном технологическом процессе (4), то выполняется анализ изменения выходных показателей процесса (5). Оценку эффективности использования активированного продукта и применяемой технологии можно выполнить по информации об изменении процесса (7-9-10).

Если интенсификация химико-технологических процессов выполняется непосредственно при воздействии на рабочий продукт, или если промежуточный контроль качества продукта не выполняется, то эффективность суммарного воздействия (преобразования + технология применения) оценивают только по изменению показателей процесса (6-9-11).

В гидродинамических активаторах (кавитаторах, диспергаторах, гомогенизаторах и т.д.) типа роторных аппаратов в основном реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие на жидкости за счет развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, сдвиговых напряжений, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов [1].

Рассмотрим, приведенную выше структуру (см. рис. 1) на примере активации смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и ее влияние на процессы резания [4]. Сложность и многосторонний характер физико-химических процессов, протекающих при активации и специфичность по отношению к различного рода материалам, участвующим в металлообработке, разнообразность условий применения в большинстве случаев не дают возможности сформулировать универсальные рекомендации по использованию того или иного метода активации.

Однако есть несколько критериев, с помощью которых можно оценить изменение состояния самой СОЖ. Так, предварительная гидродинамическая (кавитационная) обработка позволяет повысить однородность СОЖ, сделать ее мелкодисперсной, обеспечить высокую стойкость, в том числе и бактериологическую (1-2-3). Кроме того, при активации СОЖ в нее могут вводиться наноструктурированные графиты и графитсодержащие композиции со специальными добавками и др.

Контроль исходной и полученной после активации СОЖ позволяет определить эффективность ее обработки в активаторе (6-7-8). Дальнейшее использование такой СОЖ создает предпосылки, позволяющие улучшить условия резания и снизить теплонапряженность процесса, что в конечном итоге

обеспечивает повышение производительности и качества обработки (3-4-5). Сравнение показателей процесса резания и состояния СОЖ перед введением ее в зону обработки дает возможность проанализировать влияние подготовки эмульсии и эффективность ее активации (7-9-10).

Если промежуточный контроль состояния СОЖ (7) не выполняется, то эффективность процесса может определяться по суммарному воздействию кавитационной обработки и технологии использования (1-5). В этом случае сравнивается исходное состояние эмульсии с конечным эффектом при использовании комплекса, включающего в себя кавитационное воздействие на СОЖ и выбор рационального способа введения ее в зону обработки (6-9-11).

Таким образом, предложенная выше структура позволяет выполнить анализ эффективности активации как на этапе изменения физико-химического состояния рабочей среды после энергетического воздействия, так и при изменении параметров процесса, в котором используется данный рабочий продукт.

Перспективным научно-техническим направлением является разработка методик оценки различных типов роторных аппаратов по общим для технологического процесса критериям. В данной статье рассматривается один из возможных вариантов оценки эффективности гидродинамических устройств, используемых для активации жидких сред – по энергетическим параметрам процессов.

Анализ взаимосвязей и взаимовлияний энергетических параметров в роторном гидродинамическом активаторе (РГДА) можно выполнить по структурной схеме, приведенной на рис. 2. Для обеспечения необходимых условий выбирается способ, осуществление которого выполняется при преобразовании вводимой энергии в факторы воздействия (8). Так, в роторных установках энергия, затрачиваемая на вращение ротора, расходуется на создание давления в рабочей зоне и движение жидкости по каналам и специальным устройствам. В дальнейшем, в зависимости от конструкции установки, происходит преобразование кинетической энергии и энергии давления в силовое воздействие на продукт, сопровождаемое кавитацией, гидроударами и другими эффектами (7). При этом значительная часть вводимой энергии преобразуется в диссипативную, внешним проявлением которой является выделение тепла [5]. Энергия воздействия (6) также затрачивается на изменение физико-химического состояния продукта (измельчение, гомогенизация, физические превращения, химические реакции и т.д.). В роторных аппаратах подводимая электроэнергия преобразуется в механическое вращение ротора (1). За счет центробежного эффекта жидкость получает движение, которое в дальнейшем на специальных элементах конструкции позволяет получить необходимые воздействия на продукт. При этом энергия, вводимая в зону обработки (3), зависит от внешних потерь (2), которые включают в себя электрические потери в двигателе (2.1) и механические потери (2.2), обусловленные моментами трения в подшипниках, уплотнениях и других элементах аппарата. Эти

потери можно определить по мощности холостого хода при работе установки без заполнения продуктом.

Кинетическая энергия движения жидкости и энергия давления, вводимая в рабочую зону (3), расходуется на создание напора на выходе из аппарата (4), на возвратные потоки, на преодоление моментов трения в зазорах между вращающимися и неподвижными частями рабочей зоны (5), на преодоление сопротивлений в специальных элементах конструкции (6).

Энергия потока на выходе из аппарата определяется по гидравлической мощности, в зависимости от расхода Q и давления P в канале отвода жидкости.

$$N_r = Q \cdot P.$$

В зависимости от конструкции рабочей зоны внутренние потери (5), могут включать в себя затраты мощности на возвратные потоки (5.1) и потери на трение в зазорах по торцу и другим поверхностям, не участвующим в целенаправленном воздействии на продукт (5.2).

Для оценки гидродинамического воздействия на продукт необходимо выполнить сравнение расчетных параметров (9) с информацией (10), получаемой при работе установки. На основе этого можно сделать выводы об эффективности конструкции рабочей зоны (11) для данной технологии обработки.

Основной задачей, реализуемой в РГДА, является обеспечение достаточного уровня энергии, приходящейся на единицу объема обрабатываемого продукта при выбранном способе воздействия. В соответствии с назначением рассматриваемых устройств основная часть энергии должна расходоваться на создание условий, при которых происходят необходимые преобразования продукта. Исходя из этого, каждая конструкция такого гидродинамического активатора должна рассматриваться с двух позиций. Во-первых, аппарат должен обеспечивать такой уровень энергии потока, при котором в рабочей зоне будут выполняться необходимые воздействия. Во-вторых, нужно обеспечить рациональное использование этой энергии для получения требуемого эффекта.

Во всех случаях при анализе энергозатрат следует учитывать потери в электродвигателе ($N_{нэ}$) и в механизмах установки ($N_{мн}$), которые определяются по мощности холостого хода ($N_{хх}$) без заполнения установки рабочим продуктом

$$N_{хх} = N_{нэ} + N_{мн}.$$

При этом из общих затрат ($N_{эо}$) выделяется эффективная мощность ($N_{эф}$)

$$N_{эф} = N_{эо} - N_{хх}.$$

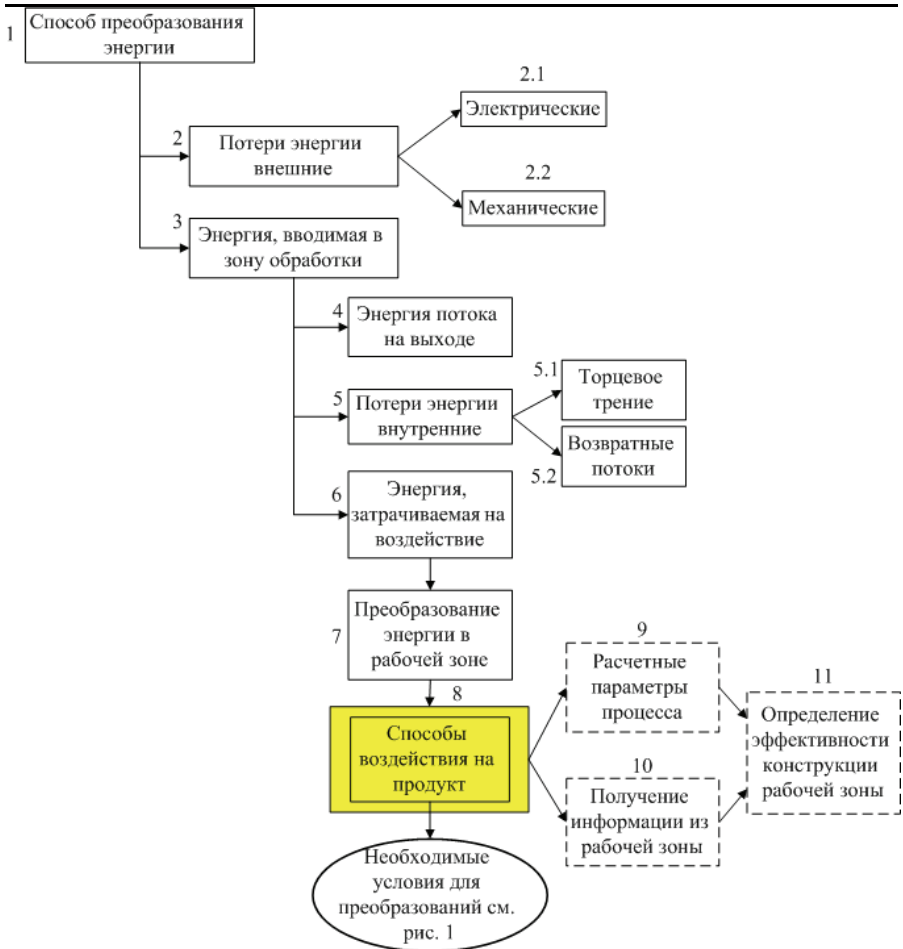


Рис. 2 – Структурная схема взаимосвязей и взаимовлияния параметров процесса при воздействии на рабочую среду в РГДА

В соответствии с назначением аппарата расчетную мощность воздействия на продукт N_{∂} можно определять по формуле

$$N_{\partial} = N_{\partial\partial} - (N_{пз} + N_{мп} + N_z + N_{вн}) = N_{\partial\partial} - (N_{хх} + N_z + N_{вн}).$$

При расчете мощности воздействия на продукт N_{∂} некоторые трудности возникают при определении внутренних потерь $N_{вн}$. Кроме того, такие составляющие, как потери на трение в нерабочих полостях камеры, частично способствуют нагреву жидкости. При разных эффектах воздействия мощ-

ность может также затрачиваться на физико-химические превращения в продукте.

При обработке жидкостей интенсивность процессов в рабочей зоне можно косвенно оценить по переходу части вводимой энергии в диссипативную. Реальные затраты мощности на нагрев жидкости при прохождении через РГДУ в этом случае определяются зависимостью [6]

$$N_T = k_t \cdot Q \cdot (T_2 - T_1) \cdot T_m \cdot \rho \text{ (кВт)},$$

где Q – расход жидкости, проходящей через диспергатор, м³/час;
 T_1 и T_2 – температура жидкости на входе и выходе аппарата, С°;
 T_m – теплоемкость рабочей среды, Вт·час/кг·С°;
 ρ – плотность жидкости, кг/м³;
 k_t – коэффициент соответствия размерностей.

При использовании данной методики оценки общих затрат мощности аппарата мы выделили только ту мощность, которая расходуется собственно на гидродинамическое воздействие N_∂ . Тогда оценку эффективности тепловых характеристик гидродинамической обработки определенной жидкости в установке можно выполнить по коэффициенту тепловыделения

$$K_T = \frac{N_T}{N_\partial}.$$

На практике при испытаниях гидродинамических активаторов можно довольно просто определить такие составляющие, как мощность холостого хода N_{xx} и гидравлическую мощность N_ϵ . Тогда с незначительными погрешностями коэффициент преобразования энергии при тепловыделении можно представить в виде

$$K_{эф} = \frac{N_T}{N_{эф} - N_\epsilon}.$$

При сравнительном анализе гидродинамических установок для активации жидкости оценку их эффективности следует выполнять также по удельной энергии диссипации, т.е. энергии, затраченной на выделение тепла в единице объема при прохождении рабочего продукта через аппарат

$$W_d = \frac{N_T}{Q},$$

где W_d – удельная энергия диссипации, кВт·час/м³.

Общая удельная энергия при обработке продукта на установке определяется

$$W_o = \frac{N_{эф}}{Q},$$

где W_o – общая удельная энергия, кВт·час/м³.

При оптимизации процесса гидродинамической обработки важно определить уровень энергетического воздействия на обрабатываемую среду, при котором происходят необходимые преобразования, обеспечивающие требуемые параметры физико-химического состояния продукта. Поэтому при оценке эффективности работы установки наряду с энергетическими показателями должны рассматриваться показатели, характеризующие конечное состояние обрабатываемого продукта или показатели технологического процесса при его использовании. При проектировании и внедрении устройств для гидродинамического и кавитационного воздействия следует также рассматривать технологические, экономические, экологические и другие аспекты их работы [1].

Для оценки соответствия выбранного электродвигателя данным условиям можно воспользоваться коэффициентом, учитывающим условия его продолжительной работы с постоянной нагрузкой [7]. В этом случае номинальная мощность N_n электродвигателя должна быть равна мощности, требуемой для работы $N_{эд}$

$$K_{эд} = \frac{N_{эд}}{N_n} \Rightarrow 1.$$

При анализе энергетических характеристик выбранных конструкций РГДА необходимо определить потенциальные направления возможных затрат энергии. Например, при рециркуляции часть потока целенаправленно возвращается на вход в рабочую зону для повторной обработки (см. рис. 3). При такой схеме обработки энергия, сообщаемая ротору, будет расходоваться еще и на возврат жидкости с выхода на вход.

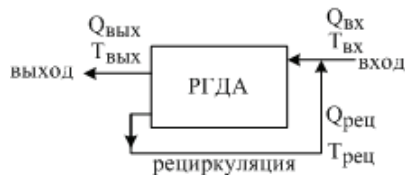


Рис. 3 – Распределение потоков при рециркуляции

В этом случае объем жидкой среды, проходящий через рабочую зону Q_{P3} , определяется расходом на выходе $Q_{вых}$ и расходом в цепи рециркуляции $Q_{рец}$

$$Q_{P3} = Q_{вых} + Q_{рец}.$$

Температура на входе в рабочую зону $\Sigma T_{вх}$ определяется суммированием температуры $T_{вх}$ (тепловые потоки входа) и температуры $T_{рец}$. Влияние каждого из потоков учитывается своим коэффициентом

$$K_{вх} = \frac{Q_{вх}}{Q_{P3}} \text{ и } K_{рец} = \frac{Q_{рец}}{Q_{P3}}.$$

Тогда температура потока на входе определяется по формуле

$$\Sigma T_{вх} = K_{вх} \cdot T_{вх} + K_{рец} \cdot T_{рец}.$$

Возможны и другие схемы работы установок активации. В частности, дополнительная энергия потоку может передаваться извне. Например, установка дополнительного насоса перед входом в РГДА. В этом случае конструкция рабочей зоны активатора, должна обеспечивать эффективную переработку суммарного потока.

При использовании дополнительного насоса перед гидродинамическим активатором необходимо учитывать затраты энергии на создание потока на входе в РГДА. Тогда суммарная энергия W_{Σ} , затрачиваемая на работу системы, будет включать в себя энергию, потребляемую насосом и РГДА (см. рис. 4).

$$W_{\Sigma} = W_H + W_{РПА}.$$

В этом случае необходимо учитывать ввод дополнительной энергии в РГДА, которая определяется гидравлической мощностью потока, создаваемого дополнительным насосом.

$$N_{Г\text{ нас}} = Q_{нас} \cdot P_{нас}.$$

Мощность, затрачиваемая на гидродинамическую обработку продукта в рабочей зоне РГДА, определяется как

$$N_D = (N_{эф. РГДА} + N_{Г\text{ нас}}) - (N_{Г} + N_{ви}).$$

При выполнении более глубокого анализа параметров работы такой системы необходимо также иметь данные о затратах энергии в насосе и РГДА, данные по производительности насоса (Q_n) и активатора ($Q_{ргда}$), давлениям (P_1, P_2, P_3) и температурам (T_1, T_2, T_3) на входе и выходе насоса и РГДА.

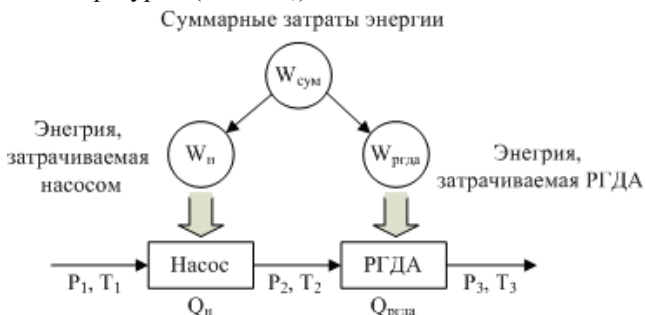


Рис. 4 – Параметры процесса при использовании насоса на входе РГДА

В производственных условиях оценку эффективности преобразования энергии в РГДА можно выполнить при определении интенсивности нагрева рабочей среды в системе активатора, включающей баки, трубопроводы и другую аппаратуру (см. рис. 5).

Во время испытаний рабочей среды, залитой в систему активатора, массой M с теплоемкостью $T_{ж}$ на выбранном режиме работы выполняется измерение температуры жидкости $T_{ж}$ в баке и металлоконструкций $T_{м}$ в начальный момент и через определенное время Δt . Количество затраченной электроэнергии определяется по счетчику W .

При известном времени нагрева Δt и приращении температуры жидкости в системе $\Delta T_{ж}$ количество энергии, затрачиваемое на нагрев жидкости массой $M_{ж}$ при теплоемкости $T_{в}$, определяется по формуле

$$W_T = M_{ж} \cdot \Delta T_{ж} \cdot T_{в} \text{ (кВт·час)}.$$

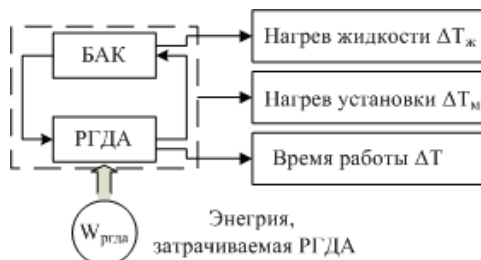


Рис. 5 – Схема измерений в баке

Для определения энергии, затрачиваемой на нагрев металла (W_M) установки массой $M_{ж}$ с теплоемкостью T_M при изменении температуры установки ΔT_M расчет выполняется аналогично предыдущему:

$$W_M = M_M \cdot \Delta T_M \cdot T_M ,$$

где W_M – энергия, затрачиваемая на нагрев металла, кВт·час.

Скорость повышения температуры жидкости можно определить как

$$V_T = \frac{\Delta T_{ж}}{\Delta \tau} ,$$

где V_T – скорость повышения температуры жидкости, С°/мин.

Тогда интенсивность нагрева будет

$$F_T = V_T \cdot Q_{бак} ,$$

где F_T – интенсивность нагрева, С°·кг/мин.

В системе, конечно, будут потери за счет передачи тепла в окружающую среду, но при хорошей теплоизоляции бака и активатора они будут незначительны. В конечном итоге суммарная энергия W_o , затраченная на выделение тепла в установке (без учета потерь) за время $\Delta \tau$, будет равна $W_o = W_T + W_M$ (кВт·час). За это же время эффективная энергия $W_{эф}$ определяется по затраченной электроэнергии (по счетчику) W_c и потерям энергии, которые с достаточной точностью можно рассчитать по мощности холостого хода N_{xx}

$$W_{эф} = W_c - W_{xx} ,$$

где $W_{эф}$ – эффективная энергия, кВт·час.

Затраты электроэнергии можно также определить без счетчика по средней мощности или току за период работы $\Delta \tau$. В этом случае

$$W_c = N_{cp} \cdot \Delta \tau ,$$

где W_c – затраты электроэнергии, кВт·час.

Эффективность преобразования энергии в системе при работе активатора на бак определяется по затратам энергии на обработку $W_{эф}$ и энергии тепловыделения в системе W_o

$$K_{эф} = \frac{W_o}{W_{эф}} .$$

Результаты исследований. Таким образом, для проведения предварительного анализа эффективности использования роторного гидродинамического активатора той или иной конструкции необходимо иметь данные о гидродинамических и энергетических параметрах его работы на модульной жидкости (например, на воде) определенных по методике, представленной выше.

Выводы. Предложенная методика оценки гидродинамического воздействия кавитации, основанная на сравнении затрат энергии в рабочей зоне, позволяет выполнить анализ эффективности используемых элементов конструкции установки и режимов ее работы по интенсивности тепловыделения. Приведенные расчетные зависимости могут использоваться как для оценки отдельных блоков, так и всей системы.

Список литературы: 1. *Промтов М.А.* Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика: монография / М.А. Промтов. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с. 2. *Федоткин И.М., Немчин А.Ф.* Использование кавитации в технологических процессах. – К.: Вища школа, 1984. – 68 с. 3. *Червяков В.М.* Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: монография / В.М. Червяков, В.Ф. Юдаев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 128 с. 4. *Балабышко А.М.* Прогрессивное оборудование для получения высококачественных СОЖ: Обзор. – М.: ВНИИ-ТЭМР, 1989. – 40 с. 5. *Промтов М.А., Акулин В.В.* Механизмы генерирования тепла в роторном импульсном аппарате // Вестник ТГТУ. – 2006. – Т.12. – №2. – С. 364-369. 6. *Фесенко А.В., Любимый Ю.Н.* Сравнительный анализ гидродинамических установок для диспергирования, гомогенизации и нагрева жидкости. – Вісник Сумського державного Університету. Серія «Технічні науки». Суми: СДУ. – 2009. – №4. – С. 103-109. 7. *Харизоменов И.В.* Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1964. – 325 с.

Поступила в редколлегию 18.10.2012 г.

УДК 66.063

Особенности обработки жидкостей в роторных активаторах / А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый, М.И. Гасанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.19-30. – Бібліогр.: 7 назв.

Запропоновано структуру оцінки ефективності активації в роторних гідродинамічних установках при обробці рідин. Розроблено методику розрахунку витрат енергії в робочій зоні. Ефективність установок пропонується визначати за питомою енергією, яка витрачається на тепловиділення.

Ключові слова: активація, роторний апарат, мастильно-охолоджувальна рідина, потужність, перетворення енергії.

The structure of evaluating the activation effectiveness in rotary hydrodynamic units for fluid processing is proposed. The method for calculating the energy consumption in the work area is developed. The effectiveness of systems to determine by the specific energy required to heat is proposed.

Keywords: activation, rotary machine, cutting fluid, power, power conversion.